

Antropologia da toxicidade: mundos mais-que-humanos após o desastre

Anthropology of toxicity: More-than-human worlds after disaster

Gabrielly Merlo de Souza¹

Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo

Este trabalho, investiga a toxicidade do solo após o rompimento da barragem de Mariana (MG), em 2015, a partir do diálogo com cientistas do solo e da etnografia em laboratório. Apoiada pelos Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia (ESCT), pela crítica feminista e pelas etnografias multiespécies, a pesquisa analisa como se constroem narrativas científicas e institucionais sobre a presença ou não de toxicidade em ambientes e corpos. Os resultados iniciais indicam que o problema não se restringe à contaminação química por metais pesados: os rejeitos, ao endurecerem, alteram a estrutura física do solo, criando os chamados “tecnossolos” – híbridos instáveis entre rejeito e solo original. Nesses contextos, fungos micorrízicos arbusculares surgem como agentes regenerativos, restaurando parcialmente a vitalidade subterrânea. Compreender a toxicidade exige vê-la não apenas como dado técnico, mas como processo que reorganiza ecologias, temporalidades e mundos possíveis.

Palavras-chave: toxicidade; ciência do solo; mineração; ESCT; etnografia multiespécies.

Abstract

This work investigates soil toxicity after the collapse of the Mariana dam (MG), in 2015, through dialogue with soil scientists and laboratory ethnography. Supported by Social Studies of Science and Technology (SSST), feminist critique, and multispecies ethnographies, the research analyzes how scientific and institutional narratives about the presence or absence of toxicity in environments and bodies are constructed. Initial results indicate that the problem is not limited to chemical contamination by heavy metals: the tailings, upon hardening, alter the physical structure of the soil, creating so-called "technosols"—unstable hybrids between tailings and original soil. In these contexts, arbuscular mycorrhizal fungi emerge as regenerative agents, partially restoring subterranean vitality. Understanding toxicity requires seeing it not only as a technical fact, but as a process that reorganizes ecologies, temporalities, and possible worlds.

Keywords: toxicity; soil science; mining; SSST; multispecies ethnography.

¹ Bolsista de Pós-Doutorado Junior (PDJ) CNPq pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, UFES. Doutora em Antropologia Social pela UFMG. Contato: gabmerlo@gmail.com

Introdução

Ecologistas concordam que toda história natural é também uma história de perturbação, impossibilitando uma separação simples entre paisagens naturais e modificadas. Por sua vez, a antropologia contemporânea tem sido povoada com uma rica diversidade de material etnográfico interessado em um estilo de descrição que dialoga com o que Anna Tsing (2019) definiu como “design não intencional das paisagens”. Sua compreensão sobre as paisagens destaca a importância do “descentramento do humano” nas histórias que contamos – chamada que valeria para as humanidades em geral. Nessa perspectiva, histórias humanas seriam igualmente relevantes às histórias não humanas.

A compreensão de que as paisagens que estudamos não são construções apenas humanas, por assim dizer, agitam os cânones desta disciplina. A questão, no entanto, não é apenas reconhecer perturbações, mas indagar sobre os regimes de impactos ambientais em jogo e como viveremos com eles – ou apesar deles.

O presente artigo apresenta resultados parciais da minha pesquisa de pós-doutorado em andamento, com apoio do CNPq e supervisão da profa. Dra. Eliana Creado. A pesquisa tem como foco o evento crítico do rompimento da barragem de Mariana (MG), ocorrido em 2015, sobre o qual analiso narrativas científicas, institucionais e corporativas envolvendo evidências ou não de toxicidade nos ambientes afetados. Em continuidade às reflexões desenvolvidas em Creado (2022) – artigo que a autora discute a toxicidade em ambiente marinho – volto-me na pesquisa de pós-doutorado para o impacto dos rejeitos para o solo, a fim de compreender o que tem se produzido de conhecimento científico sobre toxicidade. A partir do solo, investigo os agenciamentos sociotécnicos, humanos e não humanos, nos processos que apontam para o regime de perturbação e recuperação das paisagens atingidas por rejeitos da mineração.

A partir dos anos 1970, dois programas dentro do campo das humanidades partiram de abordagens construtivistas para tratar o conhecimento científico como construções sociais. Nos finais daquela década, os Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia (ESTC) deram início aos estudos de laboratório. A etnografia foi levada para dentro de laboratórios científicos para compreender a prática de produção de conhecimento científico e tecnológico. “Os trabalhos assim produzidos enfatizavam o caráter ordinário e mundano das atividades científicas, por

meio do qual fatos e artefatos eram socialmente construídos dentro do laboratório” (Duarte e Galindo, 2019, p. 15).

Em continuidade a esses estudos, anos 1980, a Teoria Ator-Rede (TAR)² é elaboradora por autores como Michel Callon, Bruno Latour e John Law que complexificaram a ideia de “social” no âmbito da atividade científica³. O princípio da “simetria generalizada” proposta pela teoria ator-rede, sugere que tanto humanos quanto não humanos constituem redes sociotécnicas. Nesse sentido, não humanos possuem agência e influenciam diretamente a produção do conhecimento e as práticas humanas no processo de “estabilização da rede” – o que reforça o caráter dinâmico e instável das redes. Essa discussão inaugura no âmbito da sociologia um novo entendimento do social, menos como uma ordem com existência própria – “um domínio especial da realidade”, como coloca Latour (2012) – para o entendimento do social como conexões ou associações entre coisas, humanos e não humanos.

Consoante a essa abordagem, se consolidam os chamados “estudos multiespécies”, termo guarda-chuva para se referir a diversos enfoques disciplinares e interdisciplinares dos últimos anos (Van Dooren et al., 2016, Kirksey, 2015). Como Anna Tsing compreende, esses estudos estão interessados em uma imersão na vida dos não humanos que constituem os mundos que pesquisamos. Em colaboração com outras áreas de conhecimento, a diversidade biocultural⁴ (Tsing, 2012; 2019) que povoa e constitui mundos tornou-se um tópico central dos estudos multiespécies. E, como parte dessas abordagens, os estudos da ciência e tecnologia e a teoria do ator-rede, as epistemologias feministas, os novos materialismos, a nova biologia, entre outros, fomentam um novo campo de etnografias mais que humanas.

A pesquisa em andamento da qual este trabalho trata, explora as consequências da história de perturbação envolvendo o desastre da Samarco, ocorrido em 2015, a partir das narrativas científicas e considerando os imbricamentos entre humanos e não humanos. Nessas histórias sincronicidades estruturais emergem entre ecologia, capital e as histórias humanas e sobre-humanas por meio das quais paisagens desiguais são feitas e refeitas (Tsing, 2019). A presente investigação acompanha os estudos de cientistas que avaliam os efeitos do contato do rejeito de minério para os ambientes, seres, organismos, animais etc. Busca-se

² Ver website "The Actor Network Resource" disponível em: <https://wp.lancs.ac.uk/sciencestudies/the-actor-network-resource-thematic-list/> Acesso em: 16. Mar. 2026

³ “A origem dessa abordagem [TAR] foi a necessidade de uma nova teoria social ajustada aos estudos de ciência e tecnologia (Callon e Latour, 1981). Mas começou, na verdade, com três documentos (Latour, 1988b; Callon, 1986; Law, 1986b). Foi nessa altura que os não humanos - micróbios, ostras, pedras e carneiros – se apresentaram a teoria social de uma maneira nova” (Latour, 2012, p. 29).

⁴ Anna Tsing discute as formas como vida humana e não humana se entrelaçam em paisagens alteradas e perturbadas, produzindo modos de ser e de coexistência que evidenciam uma diversidade de práticas e saberes.

compreender, a partir disso, as narrativas científicas sobre a trama da toxicidade, a fim de compreender o que a ciência faz ou não existir quando define o que seja ou não tóxico e como tais noções são construídas.

Como parte dos resultados da pesquisa em andamento, o diálogo com cientistas do solo e a aproximação de caráter etnográfico que venho realizando no laboratório de estudos de microbiologia do solo e toxicidade, a partir do que relatam os cientistas, foi possível observar que o problema central, conforme apontam, não está na contaminação química por metais pesados. Do ponto de vista do solo, os rejeitos de mineração provocaram uma alteração física que deslocou o problema, inicialmente de ordem química, para uma questão mais profunda: a reflexão sobre a morte do solo. Isto é, um organismo vivo, composto de matéria orgânica e que respira, passa a se transformar – nos trechos em contato com o rejeito – em uma placa rígida, compacta e sem vida.

Passados 10 anos da tragédia, o rejeito, ao secar, adquire consistência semelhante a placas endurecidas, dificultando a infiltração de água, a aeração e o crescimento das raízes. Essa alteração compromete a vitalidade subterrânea e reconfigura o próprio status do solo – de ser vivo capaz de processos orgânicos completos, para um “tecnossolo”, um híbrido entre rejeito e solo original, produto direto da catástrofe industrial.

Diferentemente dos antropossolos, como a “terra preta de índio”, historicamente associados a práticas de cuidado humano, os tecnossolos emergem de acidentes e revelam uma nova ecologia instável e vulnerável. Neles, a contaminação deixa de ser apenas uma questão química e passa a ser compreendida em seu efeito sobre a estrutura, a respiração e a capacidade do solo de sustentar vida.

A produção de conhecimento científico em desastres ambientais ocorre em um cenário de incertezas, emergência e contestação pública. Diante disso, uma pergunta importante se coloca: Como cientistas tem construído e validado as evidências em meio às urgências que caracterizam uma situação de desastre?

Este trabalho apresenta alguns dos resultados parciais da pesquisa de pós-doutorado em andamento, dedicada a investigar a atuação da ciência diante do desastre, bem como as respostas dos ambientes e os outros-que-não-humanos ao ocorrido.

Considero oportuno situar o campo emergente e ainda em constituição dos estudos da toxicidade no campo da Antropologia. Antes de apresentar os resultados parciais da primeira etapa da pesquisa, apresento na seção seguinte uma breve revisão dos principais trabalhos que abordam o tema da toxicidade no âmbito da antropologia. Na sequência, compartilho o

contexto de realização da pesquisa e, finalmente, um resumo-síntese da análise que fiz de duas publicações das ciências naturais que realizaram estudos do solo impactado por rejeito.

Antropologia e Toxicidade

São inúmeros trabalhos antropológicos e interdisciplinares que discutem e problematizam a toxicidade como fenômeno material, social, político e epistemológico no mundo contemporâneo. Ainda que não se trate de um campo inteiramente consolidado nas Ciências Humanas, nas últimas décadas etnografias e ensaios tem abordado diretamente o tema a partir de discussões que vão desde infraestruturas industriais, economias e modelos energéticos a exposições químicas no cotidiano e disputas regulatórias – em geral, abordados em diálogo com perspectivas da antropologia da ciência e da tecnologia, justiça ambiental, estudos decoloniais, feministas, multiespécies, entre outros.

A antropologia que problematiza questões envolvendo toxicidade tem procurado deslocar a discussão de uma definição estritamente técnico-científica para compreendê-la enquanto experiência vivida, relacional, histórica e politicamente situada. Um panorama geral dos estudos das Humanidades que abordam substâncias tóxicas, por exemplo, consideram a toxicidade não como uma informação química independente e alheia à socialidade que a cerca, mas como uma entidade relacional, produtora de desigualdades e violências, bem como impulsionadora de comunidades, controvérsias e formas específicas de contestação social e de cuidado.

Na esteira dessa discussão, o trabalho de Alex Nading (2020) reflete como viver em um mundo tóxico (*living in a toxic world*). Ao compreender que a proliferação de substâncias tóxicas industriais ao longo do século passado transformou de forma irreversível tanto os ambientes quanto os corpos humanos, Nading discute as implicações desses efeitos para as abordagens científicas convencionais – sobretudo por considerar que estamos diante de efeitos difíceis de medir, prever ou remediar. Diante disso, o autor afirma que políticas regulatórias que visam mitigar efeitos de determinadas substâncias produzem incertezas persistentes – diante de evidências de impactos ambientais e sanitários. Seu trabalho não pretende documentar exposições químicas ou catalogar ingredientes nocivos, mas se propõe *compreender a toxicidade como um encontro contingente entre seres, sistemas e coisas* – um encontro que não é inerente às substâncias isoladamente, mas que emerge nas interações entre corpos humanos, mais-que-humanos, infraestruturas sociotécnicas e formas de vida social.

Deslocar o foco de uma toxicologia puramente técnica (e regulada por políticas) para uma abordagem que considera a dimensão ética, estética e das respostas humanas e não humanas às exposições tóxicas, envolve construir e pensar novos modos de habitar um mundo que, de acordo com Hendlin (2021), é marcado pelo “Antropoceno químico” – Era em que substâncias químicas produzidas pelo ser humano estão profundamente integradas (e muitas vezes invisíveis) na vida social e biológica. Aliado à noção de imaginários sociotécnicos de Sheila Jasanoff e Sang-Hyu Kim (2009), Hendlin (2021) analisa como avaliações de risco químico não são puramente técnicas, mas moldadas culturalmente e entrelaçadas a interesses econômicos e a estruturas de poder. Sua perspectiva compreende que a toxicidade não se define enquanto uma propriedade objetiva das substâncias, mas por um constructo político e cultural, sob influência de indústrias químicas e de regimes regulatórios permeadas por conflitos de interesses⁵. Hendlin (2021), por exemplo, mostra como a regulação moderna do risco químico, avaliações de segurança, etc., operam em uma “ciência pós-normal”, criando assimetrias epistêmicas envolvendo, inclusive, o controle de empresas sobre dados e informações. No contexto do capitalismo químico, a contaminação não deve ser pensada como uma condição ontológica do estar-no-mundo (estamos todos contaminados), mas como um processo historicamente situado, ligado a decisões industriais, regulações estatais frágeis, regimes de mercado e estratégias de desresponsabilização corporativa.

Essa abordagem tem ressonância em uma série de etnografias realizadas por pesquisadores/as brasileiros/as e de outras nacionalidades que abordam toxicidade a partir de diferentes situações. O trabalho de Maria Raquel Passos Lima (2020), por exemplo, analisa etnograficamente um caso emblemático de contaminação por resíduos industriais no município de Volta Redonda (RJ), resultante da atividade produtiva da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). A partir do episódio de contaminação do condomínio Volta Grande IV por resíduos tóxicos, a autora propõe a noção de “infraestrutura siderúrgica” como eixo analítico capaz de revelar aquilo que tradicionalmente permanece invisível nas análises sobre produção industrial: o lado residual e tóxico das infraestruturas materiais que sustentam a produção de aço e a vida urbana. Os resíduos e a toxicidade, como Lima (2020) mostra, se tornam parte integrante – embora muitas vezes oculta – da infraestrutura que modela territórios, corpos e relações sociais.

⁵ Bruno Latour argumenta que ciência, economia e política estão continuamente entrelaçadas na produção dos fatos e das formas de governança contemporâneas. Essa “coprodução” dos fatos que se estabilizam mutuamente, produzem efeitos de autoridade e legitimidade para a ciência, a indústria e ao Estado.

Bulamah (2023) faz uma reflexão etnográfica sobre a economia do carvão vegetal no norte do Haiti. Apesar do seu trabalho refletir sobre as narrativas ambientais dominantes que condenam a produção de lenha e carvão como um fenômeno nocivo e responsável pelo desmatamento descontrolado, o autor aborda a questão da toxicidade a partir de outros parâmetros. Ele desloca o olhar para além de leituras convencionais da crítica ambiental ao enfatizar que a cadeia produtiva do carvão, no contexto que ele analisa, é mediada por técnicas e afetos que articulam processos vitais, diferentes regimes de propriedade e herança, bem como cálculos econômicos e ecológicos específicos dos montes haitianos.

Melina Packer (2021) propõe um olhar que leve em conta lógicas imperialistas e colonialistas para compreender melhor as formas desiguais de exposição tóxica no mundo contemporâneo – nas quais determinadas populações e territórios experimentam riscos e danos de maneira desproporcional. Complementar a esse olhar, Perfigli (2025) em uma reflexão sobre a maneira como os produtos químicos antropogênicos – substâncias sintetizadas ou transformadas pela ação humana – circulam na sociedade. Seu trabalho discute os objetos materialmente e socialmente significativos, embora historicamente invisibilizados. O autor parte da constatação de que esses produtos não apenas estruturam grande parte das práticas cotidianas e das tecnologias que nos cercam, mas também carregam histórias complexas que raramente são narradas ou compreendidas em sua totalidade. Nesse sentido, ele argumenta que tais substâncias deveriam ser abordadas não apenas como agentes técnicos de reações químicas, mas como atores históricos e políticos, cujas trajetórias e efeitos estão imbricados em relações sociais, econômicas e ambientais mais amplas.

A etnografia de Jéssica Ferreira Cardoso (2022) investigou debates técnicos, regulatórios e políticos sobre substâncias químicas no Brasil relativos à indústria dos agroquímicos. A autora realiza justamente o trabalho de perseguir a história das substâncias. Sua pesquisa analisa como se constituem disputas ontológicas em torno de duas substâncias intimamente ligadas: o ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS) e seu precursor, a sulfloramida, no contexto brasileiro. Seu trabalho foca no processo que levou o PFOS a ser classificado como poluente persistente em âmbito global e as razões pelas quais a sulfloramida continuou a ser utilizada no país apesar dessa classificação. Kristina Lyons também discute o uso da substância apontando para uma guerra ecológica no uso do glifosato contra formas tradicionais de plantio no Putumayo colombiano (Lyons, 2020). A autora também mostra o uso do glifosato como tecnologia política para o esvaziamento de territórios indígenas,

quilombolas e ribeirinhas no Baixo Tapajós (Pará) – um processo que também é discutido por Zuker como “expulsão por asfixia” (Zuker, 2022 *apud* Cardoso e Zuker, 2022).

Não é objetivo do presente texto dar conta de toda essa produção, nem esgotar os debates sobre o tema da toxicidade. O recorte analítico feito até aqui privilegiou alguns estudos emblemáticos que abordam os problemas mobilizados pela antropologia da toxicidade, em diferentes escalas e contextos. No âmbito desta pesquisa em andamento, trato a toxicidade a partir das narrativas científicas, entendidas como práticas discursivas e epistêmicas que produzem classificações, evidências, controvérsias e estabilizações sobre o que conta ou não como tóxico. Essa perspectiva dialoga com contribuições dos estudos sociais da ciência e tecnologia, como as análises de Bruno Latour sobre ciência em ação, de Sheila Jasanoff sobre coprodução e imaginários sociotécnicos, e de Yogi Hale Hendlin sobre os regimes políticos e simbólicos da definição da toxicidade no Antropoceno químico, oferecendo uma chave analítica para compreender como a toxicidade é performada e governada no interior da ciência.

Na seção seguinte, será apresentado uma breve contextualização desta pesquisa e um estudo de caso que a orienta. Serão analisados dois artigos científicos que examinaram a presença e a caracterização da toxicidade no solo associada a rejeitos, sobre os quais recorro a fim de compreender como a toxicidade é definida, medida e narrada nesses trabalhos.

Relatos de campo: situando a pesquisa

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) sedia a Escola de Agronomia de Lavras onde estão situados os laboratórios de ciência do solo⁶. Com horário marcado com o professor Dr. Marco Aurélio Carbone, me encaminhei diretamente ao seu gabinete, onde realizamos nossa primeira conversa sobre minha pesquisa. Após conversa, fui guiada pelo meu anfitrião para uma caminhada de modo que pudesse conhecer o prédio e suas instalações. Estudantes de diferentes níveis de formação – graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado – interagem em diferentes salas e laboratórios onde, possivelmente, experimentos estavam em andamento. Vestidos com jalecos brancos diante de um microscópio, outros manuseando algum recipiente contendo um ácido ou limpando um equipamento após o uso. Os espaços eram relativamente silenciosos e aparentavam clima de produtividade científica.

⁶ Disponível em: <https://esalmg.ufla.br/laboratorios/laboratorios-geral> Acesso em: 16. Mar. 2026.

Não é possível entrar em um lugar como os laboratórios de pesquisas com solo sem estranhar o tratamento especial conferido a esse elemento. Sacos espalhados em bancadas brancas extremamente limpas são etiquetados com números e localização de onde o material foi retirado. Se trata de um monte de terra no olhar de um leigo, sem qualquer diferença entre si. Em nossas conversas, há o reconhecimento de que os verdadeiros laboratórios vivos são os sítios de onde são retiradas as amostras, o que acontece naqueles espaços controlados é a mimetização da “vida lá fora”, no caso, mais complexa e repleta de variáveis. No laboratório de ciência, para onde as amostras são levadas, a realidade é criada, pois a vida do solo e seus processos ocorrem na rizosfera, abaixo da superfície. A terra onde pisamos, portanto, é o maior experimento da ciência do solo, eles me diziam. Um experimento não pode ser realizado no laboratório, mas comportamentos, resultados e processos podem ser analisados e conduzidos através de métodos específicos de pesquisa.

Em suma, a vida orgânica é simulada em ensaios, o que é realizado tanto no laboratório, como na própria casa do pesquisador ou em viveiros controlados – como é o caso das Casas de Vegetação localizados no Campus universitário. Assim como uma planta hospedeira dentro de um vaso de plástico pode ser parte de um experimento, o próprio “rejeito de mineração” também pode ser armazenado em um simples recipiente para uma pesquisa que visa, por exemplo, avaliar a regeneração a partir da inoculação com Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).

O professor Marco Aurélio havia me enviado uma mensagem numa quinta-feira dizendo que ele e mais alguns alunos/as estavam voltando dos pampas, no Rio Grande do Sul (RS). Disse que eu poderia ir ao laboratório a partir de segunda-feira. O laboratório estava recebendo muito material e seria muito bom acompanhar; aproveitaria para pegar o cronograma com a equipe de pesquisa, ele disse em mensagem por Whatsapp.

As minhas primeiras incursões nas instalações dos cientistas, por um tempo foram mediadas pelo professor. Com a equipe tendo retornado do campo no RS, comecei a frequentar mais assiduamente o Laboratório de Microbiologia e Processos Biológicos do Solo da UFLA. Fui apresentada ao chefe do laboratório, um técnico formado em engenharia, mas que sonhada um dia cursar Antropologia, relatou. Após primeiros momentos de conversas e aproximações, finalmente obtive meu “passe livre” para as visitas ao laboratório. Meu campo que havia começado timidamente, sempre mediado pelo professor Marco, agora se abriu para o contato direto com as equipes de pesquisa.

Com a chegada de material novo para análise no laboratório, finalmente chegou o momento de “colocar a mão na terra”. Enquanto passava minhas tardes no laboratório, surgiram ocasiões oportunas para conversar diretamente com as/os pesquisadoras/es, o que me ajudou a ganhar confiança deles. Nesse período, me dispus também a assistir algumas aulas ministrada pelos próprios estudantes da pós-graduação que eram oferecidas para os cursos de graduação da Escola de Engenharia, isso contribuiu para meu entrosamento não apenas com a equipe de pesquisa, mas sobretudo para aprender a “gramática científica” do solo.

Felizmente, o clima de pesquisa junto aos cientistas do solo tem sido de cooperação e abertura – as minhas perguntas ainda não se mostravam exaustivas para os meus interlocutores. Optei por deixar o gravador ligado num canto da sala captando nossas conversas, estratégia que ajuda no processo de descrição após retornar ao “gabinete”. Não apenas o diário de campo, mas ter um momento de conversas informais gravado em áudio, garante registros precisos, por exemplo, de explicações, por vezes complicadas, sobre processos químicos, referências difíceis de capturar para uma ouvinte de fora daquele mundo.

Na segunda-feira cheguei no laboratório e toda a equipe estava ativa, peneirando o solo recém-chegado para análise. Me ofereci para ajudar. Alguns processos eram bastante simples e podiam contar com a ajuda de uma pessoa leiga como eu; já outros processos exigiam mais preparos – o que não parecia exatamente desanima-los visto que o manuseio de uma ferramenta pode ser ensinado em poucos minutos para uma pessoa novata.

Meu interesse ali era nos solos das áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Mariana (MG), mas há algumas semanas vinha acompanhando junto à equipe o trabalho que realizavam com o solo dos pampas, proveniente de outros processos ecológicos e cujos experimentos buscavam responder outras questões.

Me preocupei em verificar com a equipe se haveria alguma diferença entre o que estavam fazendo com o solo dos pampas e o que fizeram nos anos anteriores com os solos de Mariana (MG) afetado pelos rejeitos. E a resposta foi que as metodologias de análises de solo são muito similares, independem do tipo de solo, mas que as respostas podem variar já que se trata de solos totalmente distintos.

Diante da minha preocupação em não ter tido, naquele momento, acesso diretamente à pesquisa com os rejeitos, um dos pesquisadores da equipe, com a intenção de me ajudar a chegar no “solo correto”, certa vez me disse: *“Tem solo de rejeito ali em cima, acho que está dentro de uma caixa, guardado, se você quiser tirar uma foto...”*. Nesse caso, entendendo que

os métodos aplicados de análise podem ser basicamente os mesmos, ainda que se trate de perguntas diferentes, segui com a pesquisa de campo no laboratório. A partir disso, comecei a pensar modos de procurar paralelos possíveis entre as práticas científicas acompanhadas ali e as minhas perguntas de pesquisa.

No início da pesquisa, meu objetivo ao adentrar o laboratório envolvia não apenas aprender a ciência do solo na prática e obter respostas sobre como entendem a toxicidade por rejeitos de mineração, mas, como de praxe na pesquisa de campo etnográfica, procurei construir relações de confiança com os meus “informantes”, e assim aprender um pouco sua linguagem – o que estão dizendo quando falam de métodos de densímetro ou da pipeta, porosidade total e condutividade hidráulica do solo, capacidade de troca catiônica e condutividade elétrica, respiração do solo, diversidade microbiana, lixiviação e bioacumulação.

Ao longo desta seção, descrevi brevemente minha inserção no laboratório e as dinâmicas cotidianas tanto da pesquisa antropológica quanto do trabalho dos cientistas do solo – dinâmicas que constituem o fazer científico como uma prática situada, relacional e atravessada por negociações e traduções. A etnografia de laboratório (Latour e Woolgar [1979], 1997) permite compreender a ciência não como um corpo de verdades prontas, mas como um processo em construção, no qual dados, instrumentos, protocolos, pessoas e discursos se coproduzem.

Entretanto, é importante explicitar que para fins deste artigo, não será desenvolvida a abordagem etnográfica da “ciência em ação” como eixo analítico central. Ainda que o trabalho de campo no laboratório constitua parte da abordagem metodológico desta pesquisa – sobre o que pretendo desenvolver em outras publicações –, o foco específico deste texto recai sobre a análise de dois artigos científicos já publicados, que serão abordados na seção seguinte, nos quais a ciência aparece sob a forma estabilizada: dados consolidados, resultados formalizados e narrativas científicas institucionalmente legitimadas. Trata-se, portanto, de um deslocamento analítico da observação dos processos de produção do conhecimento para o exame dos seus produtos discursivos e textuais.

Pensar com Fungos e bactérias: a regeneração multiespécies de ambientes degradados

Para um panorama dos resultados obtidos com os estudos sobre os impactos dos rejeitos de mineração para os ambientes, selecionei dois artigos publicados em revistas

internacionais. A justificativa para escolha destes dois trabalhos se deve ao fato de terem sido utilizados como referência central nas conversas com os meus colaboradores cientistas nas pesquisas de campo. Um dos dois artigos selecionados (Reis et al., 2025), conta com a autoria de pesquisadoras/es do próprio departamento da Microbiologia do Solo da UFLA, onde realizo esta pesquisa. Os artigos aqui discutidos são de Almeida et al. (2018), cuja autoria reúne pesquisadoras e pesquisadores da Universidade de Viçosa (UFV), vinculados aos departamentos de Química e de Solos; e artigo de Reis et al. (2025) desenvolvido em parceria com diferentes Universidades⁷. Sobre ambos, apresento a seguir, de forma breve, suas principais conclusões.

Os solos afetados pelo desastre da Samarco revelam um cenário complexo em que a toxicidade não se apresenta apenas como presença de substâncias nocivas/tóxicas, mas como um conjunto de relações químicas, biológicas e materiais em contínua transformação. Os estudos de Almeida et al. (2018) e Reis et al. (2025), quando lidos conjuntamente, permitem compreender duas camadas essenciais dessa ecologia da toxicidade: de um lado, o comportamento mineral e físico-químico do rejeito, que determina como elementos tóxicos podem ser retidos, liberados ou transformados; de outro, a resposta biológica do solo, especialmente sua capacidade de resistir e se recuperar de múltiplos estressores.

O trabalho de Almeida et al. (2018) concentra-se justamente nesse ponto estrutural: como o rejeito se comporta como material. A caracterização mineralógica mostra que ele é composto predominantemente por óxidos de ferro – goethita, hematita – além de caulinita e ilita. Embora óxidos de ferro sejam, em outras circunstâncias, poderosos agentes de adsorção⁸ e imobilização de metais pesados (inclusive usados em tecnologias de remediação ambiental), o estudo revela que o rejeito da Samarco não possui essa capacidade ampliada. Isso porque suas partículas são grandes e têm baixa área de superfície ativa, o que reduz drasticamente sua habilidade de adsorver contaminantes. Diferentemente das partículas muito finas (como argilas), que carregam grande quantidade de cargas elétricas capazes de atrair e fixar elementos químicos, o rejeito se apresenta como um material de baixo potencial de retenção.

⁷ University of Florida/IFAS (Gainesville, FL, United States of America), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal da Fronteira do Sul (UFFS) e Universidade Federal de Lavras (UFLA).

⁸ Adsorção é um termo técnico utilizado pelas ciências agrárias para indicar a interação que acontece na superfície das partículas do solo, estando relacionado ao controle de disponibilidade de contaminantes e toxicidade no solo. O termo tem sentido contrário ao processo de "absorção", em que uma substância é incorporada à outra. Na adsorção, quanto maior a partícula, menor a capacidade de reter contaminantes (ou de fixar íons e moléculas). No caso do solo atingido por rejeito, conforme apontam as análises, as partículas possuem gramatura considerada grande, por isso apresentam baixa capacidade de adsorção.

A constatação extraída do estudo de Almeida et al. (2018), desmonta o temor inicial de que o rejeito pudesse atuar como carreador de grandes cargas de metais tóxicos pela paisagem. No entanto, ao mesmo tempo, expõe um outro tipo de vulnerabilidade, a incapacidade de o rejeito funcionar como filtro.

Em solos tropicais típicos, a adsorção é um dos mecanismos importantes para impedir que contaminantes avancem para lençóis freáticos e rios. Quando esse mecanismo é fraco – como é o caso dos rejeitos aqui analisados –, substâncias orgânicas e inorgânicas permanecem mais móveis. Além disso, os cientistas do solo explicam que a toxicidade depende, principalmente, das formas químicas que os elementos assumem – e não simplesmente do fato de haver presença ou não de substâncias químicas⁹. Assim, o comportamento do rejeito passou a ser analisado pelos cientistas do solo em relação ao modo como ele influencia a química e a transformação dos contaminantes no ambiente – e não pela quantificação da presença de metais pesados e demais elementos presentes.

O estudo de Reis et al. (2025), em certo sentido, amplia a pesquisa de Almeida et al. (2018) ao deslocar o foco da mineralogia para a vida do solo. Em vez de perguntar apenas o que o rejeito contém ou retém, o estudo examina como o solo afetado pelo rejeito responde a um segundo estressor. Ou seja, o trabalho de Reis et al. (2025) focou nas consequências da presença de rejeito no solo.

Trabalhando com organismos-padrão utilizados em testes ecotoxicológicos, Reis cria uma condição controlada e hipotética (mimetização da realidade). Em sua análise, foram testados um inseticida adicionado ao solo com presença de rejeito, ainda que essa interação, organismos e elementos químicos, não sejam nativos ou encontrados na área impactada – algo que em conversas internas com os/as pesquisadores/as é entendido como parte dos próprios limites metodológicos do campo científico. Todavia, o experimento permitiu medir, com precisão, a capacidade do sistema solo-organismos de reagir a um estresse adicional no contexto do solo atingido por rejeito.

Os resultados revelaram que o rejeito, embora não produza toxicidade significativa sozinho, compromete significativamente a *resiliência* do solo. A distinção ecológica entre resistência e resiliência é central aqui. O solo pode resistir ao primeiro impacto com agroquímicos e pesticidas, mantendo temporariamente suas funções, mas sua capacidade de se recuperar a um novo estressor é baixa.

⁹ Mercúrio metálico, por exemplo, é relativamente estável, mas quando transformado em metilmercúrio, processo dependente da interação com matéria orgânica, torna-se altamente tóxico.

Quando o inseticida foi aplicado no experimento realizado, sua ação no solo afetado pelo rejeito foi ampliada. Essa é a sinergia que o artigo de Reis et al. (2025) destaca: a combinação entre rejeito e inseticida produz efeitos mais fortes do que cada substância isoladamente. O ambiente já fragilizado fica ainda mais vulnerável. E essa vulnerabilidade não é apenas teórica; ela remete a situações reais. Áreas de pastagens, por exemplo, recebem continuamente antibióticos e pesticidas via excretas do gado. Se essas moléculas persistem no solo – e sua persistência aumenta quando o solo não tem capacidade de adsorvê-las –, chuvas podem transportá-las com maior facilidade para rios, ampliando o alcance da contaminação ao longo da bacia, até cidades como Linhares (ES), por exemplo.

Ao colocar os dois estudos em diálogo, observa-se um quadro de toxicidade que aponta para uma situação que não é estática, mas processual, dinâmica e complexa. Almeida (2018) mostrou que o rejeito não funciona como um poderoso imobilizador de metais, mas como um material pouco ativo em termos de adsorção – pois deixou de ser um solo típico, logo, perde muitas de suas características e capacidades orgânicas –, deixando contaminantes mais livres. Reis (2025), por sua vez, mostrou que essa falta de adsorção dos tecnossolos, bem como essa alteração das propriedades do solo, reduzem sua *resiliência biológica*, tornando-o mais suscetível à amplificação dos efeitos de novos estressores químicos.

Nos termos da pesquisa antropológica, a articulação entre os estudos, aqui brevemente discutidos, revela que a toxicidade é um dado que não se limita às substâncias tóxicas ou à contaminantes. A toxicidade de um ambiente, no caso do solo, é uma produção conjunta que envolve práticas sociais, materiais, organismos, técnicas e histórias de impacto.

O solo não é mero suporte: ele é um agente envolvido em reter, liberar, transformar ou propagar substâncias. O rejeito, por sua vez, não é apenas detrito; é uma matéria ativa cuja mineralogia e granulometria modulam processos químicos e ecológicos. E os organismos do solo, ao responderem a esses materiais, revelam os limites da vida sob condições de múltiplos estresses.

Assim, a paisagem do Rio Doce pode ser compreendida como um espaço em que vulnerabilidades químicas e biológicas se entrelaçam. A baixa capacidade de adsorção observada por Almeida, somada à baixa resiliência ecológica observada por Reis, desenha não um ambiente tóxico por excesso de metais, mas um ambiente predisposto à toxicidade: um solo que não retém, não filtra, não dissipa, e, portanto, se torna campo fértil para que moléculas sintéticas, resíduos agrícolas ou transformações químicas via matéria orgânica se tornem mais móveis, persistentes e perigosas. Esse entendimento convida a uma antropologia

da toxicidade que, mais do que mapear contaminantes, investiga como solos, rejeitos, organismos e substâncias coproduzem processos de degradação, risco e vulnerabilidade ao longo do tempo.

Considerações finais: ecologias do Antropoceno

Apreendi com os cientistas do solo algo novo sobre o modo como geralmente relacionamos automaticamente a toxicidade a desequilíbrio químico. Mesmo nos pontos de maior deposição de rejeitos, os solos atingidos apresentam, segundo os cientistas, toxicidade variável, podendo inclusive apresentar, nas áreas revegetadas, baixos níveis de toxicidade – se tomar a toxicidade pelo nível elevado de metais pesados presente em um determinado ambiente. A depender da espécie bioindicadora e das características do solo, a definição de toxicidade pode variar.

O processo de revegetação desencadeado nas áreas afetadas tem melhorado não apenas a estrutura do solo como reduzido a presença de metais. As análises mostram que a toxicidade, nesse caso, não depende apenas da presença ou não de rejeitos, mas seus níveis variam de acordo com a interação com outros contaminantes químicos (como pesticidas ou agroquímicos que podem ser utilizados em lavouras, por exemplo). A sinergia dos rejeitos com outros contaminantes intensifica a toxicidade de forma significativa. Isso ocorre por que os rejeitos alteram a textura, a drenagem e o teor de matéria orgânica do solo, fatores que aumentam a mobilidade e a biodisponibilidade de pesticidas, tornando-o mais facilmente absorvido pelos organismos do solo¹⁰. Em outras palavras, a contaminação química do solo exige considerar a combinação a outros contaminantes, somada a características físicas e químicas do solo.

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) aparecem como agentes centrais de regeneração. Evolutivamente associados às plantas, eles complexam metais, melhoram a estrutura física do solo, ampliam a absorção de nutrientes e aceleram os processos de revegetação. Sua ação simbiótica cria as condições para que o solo “volte a respirar”, devolvendo gradualmente a possibilidade de vida. Medidas laboratoriais da atividade microbiana, traduzidas em índices de respiração do solo, tornam visível esse fôlego

¹⁰ Estudo realizado por Reis et al (20025) mostra que a presença de rejeitos de mineração por si só não garante alta toxicidade no solo, especialmente em áreas que passaram por revegetação ou que possuem baixos teores de elementos potencialmente tóxicos (PTEs). Ou seja, o solo impactado por rejeitos, mas sem pesticidas, apresentou toxicidade relativamente baixa para a fauna do solo.

subterrâneo, evidenciando como a regeneração depende da microbiota e dos ciclos de carbono. O conceito de tecnossolo, em paralelo a definição de “água moderna” proposta por Linton (2010), aponta para um sentido híbrido, marcado tanto pela industrialização e gestão técnica, ao mesmo tempo que abriga possibilidades regenerativas mediadas por microrganismos.

As primeiras conclusões deste estudo apontam para um imaginário da toxicidade, tomando-a não apenas um dado técnico-químico, mas parte de um processo de reorganização de mundos ecológicos, científicos e sociais.

Referências

- ALMEIDA, Cristiane A., et al. Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin e Brazil. **Chemosphere**. 2018.
- BULAMAH, Rodrigo. Regeneração e toxicidade: notas etnográficas sobre a economia do carvão no norte do Haiti. **Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology**, v. 18, p. 1–20, 2021.
- CARDOSO, Jéssica Ferreira. Entre seguro e poluente: disputas ontológicas em torno do PFOS e da sulfluramida no Brasil. 2022. **Dissertação** (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.
- CARDOSO, Jessica F.; ZUKER, Fabio. As múltiplas existências do glifosato: uma etnografia da indústria agroalimentar seguindo um veneno. Resenha. **Rev. antropol.** (São Paulo, Online) | v. 68: e222607 | USP, 2025
- CREADO, Eliana. S.J. Agregados orgânicos e inorgânicos na foz do Rio Doce (e) em publicações científicas. **R@U- Revista @ntropologia da UFSCAR**. 14(1). jan/jun. 2022
- DUARTE, Tiago R.; GALINDO, Luis-Reyes. Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia. **Revista Pós - Número 2, Volume 14**. 2019
- HENDLIN, Yogi Hale. Surveying the Chemical Anthropocene: chemical imaginaries and the politics of defining toxicity. **Cultural Anthropology**, v. 36, n. 1, p. 40–66, 2021.
- JASANOFF, Sheila, KIM, Sang-Hyu. **Containing the Atom: Sociotechnical Imaginaries and Nuclear Power in the United States and South Korea**. Minerva. 2009.
- KIRKSEY, Eben; HELMREICH, Stefan. O surgimento da etnografia multiespécies. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, v. 21, n. 43, p. 11–46, 2015.
- KIRSEY, Eben. et al. Estudos Multiespécies. Cultivando a arte da atentividade. **Climacom**. Incertezas. 2016
- LATOUR, Bruno; WOOLGAR, Steve. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- LATOUR, Bruno. **Reagregando o social: uma introdução à teoria do ator-rede**. Salvador: EDUFBA; Bauru: EDUSC, 2012.
- LIMA, Maria Raquel Passos. (Toxi)Cidade do Aço: infraestrutura siderúrgica e contestação social em um caso de contaminação por resíduos industriais. **Anthropologicas**, v. 31, n. 1, p. 109–138, 2020.

- LINTON, James. **What is water?** The History and Crisis of a Modern Abstraction. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Geography and Environmental Studies, Carleton University. 2006.
- LYONS, Kristina. **Vital Decomposition.** Soil Practitioners & Life Politics. Duke University Press, 2020
- MARCHEZINI, Victor. As ciências sociais nos desastres: um campo de pesquisa em construção. BIB – **Revista Brasileira de Informação Bibliográfica em Ciências Sociais**, São Paulo, n. 83, p. 43–72, 2017.
- MATTEDI, Marcos Antônio. A sociologia da pesquisa científica: o laboratório científico como unidade de análise sociológica. **Teoria & Pesquisa**, v. 16, n. 2, jul./dez. 2007.
- NADING, Alex M. Living in a toxic world: the anthropology of pollution, contamination, and harm. **Annual Review of Anthropology**, v. 49, p. 213–228, 2020.
- PACKER, Melina. Chemical agents: the biopolitical science of toxicity. In: NIEZ, Thomas; SHAPIRO, Nicholas (org.). **Chemical bodies.** Durham: Duke University Press, 2023.
- PERFIGLI, Dario A. Histórias químicas: tornando visível o invisível. **Mana**, v. 28, n. 2, p. 1–26, 2022.
- REIS, Tamires R. dos; et al. Resilience of soil fauna to pesticide contamination in areas impacted by mining tailings. Science of the Total Environment. **Science of The Total Environment.** Volume 1001. 2025. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969725021321?via%3Dihub> Acesso em: 16 mar. 2026.
- TSING, Anna L. Contaminated Diversity in ‘Slow Disturbance’: Potential Collaborators for a Liveable Earth. In: **Why Do We Value Diversity?** Biocultural Diversity in a Global Context. Edited by Gary Martin, Diana Mincyte, and Ursula Münster, RCC. no. 9, 95–97. Perspectives 2012.
- _____. **Viver nas ruínas.** Paisagens multiespécies no Antropoceno. IEB. Mil Folhas. Brasília. 2019.
- VAN DOOREN, Thom; KIRKSEY, Eben; MÜNSTER, Ursula. Estudos multiespécies: cultivando artes de atenção. **Revista de Antropologia**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 10–38, 2016.